

PROPUESTA DE DISEÑO MECÁNICO EN CAD DE DISPOSITIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE SHUNTS MAGNÉTICOS EN TRANSFORMADORES DE
POTENCIA EN LA EMPRESA ABB LTDA.



Universidad
Tecnológica
de Pereira

MICHAEL STEVENS HERNÁNDEZ QUINTERO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA
2020

PROPUESTA DE DISEÑO MECÁNICO EN CAD DE DISPOSITIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE SHUNTS MAGNÉTICOS EN TRANSFORMADORES DE
POTENCIA EN LA EMPRESA ABB LTDA.

MICHAEL STEVENS HERNÁNDEZ QUINTERO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar
por el título de Ingeniero Mecánico

Director:
ING., M. IVAN YESID ORTIZ MORENO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA
2020

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y Fecha (día, mes, año) (Fecha de entrega)

Dedicatoria:

El presente trabajo lo dedicó principalmente a Dios y mis padres, por ser los inspiradores y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener una de mis metas más soñadas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo de la misma, por ser mi apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad y por la sabiduría dada durante de este proceso.

Gracias a mis padres, mi hermana y toda mi familia por ser los principales promotores de este sueño, por confiar y creer en mí, por su apoyo incondicional, por sus consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradecer a todos los docentes de la Universidad Tecnológica de Pereira que compartieron conmigo todos sus conocimientos e hicieron parte de mi preparación y formación como profesional.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	14
3.2 JUSTIFICACIÓN	14
4. MARCO TEÓRICO	15
4.1 TRANSFORMADOR ELÉCTRICO	15
4.1.1 DEFINICIÓN	15
4.1.2 FUNCIONAMIENTO	16
4.2 TRANSFORMADORES DE POTENCIA.....	16
4.3 PARTE ACTIVA DEL TRANSFORMADOR	17
4.3.1. NÚCLEO.....	17
4.3.2. BRIDAS	17
4.3.3. BOBINA.....	17
4.3.4. AISLAMIENTOS.....	17
4.4 TANQUE	17
4.5 PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES.....	18
4.5.1 PÉRDIDAS POR CORRIENTES DE FOUCAULT.....	19
4.6 SHUNTS MAGNÉTICOS.....	19
5. MATERIALES Y METODOLOGÍA	21
5.1 MATERIALES	21
5.2 METODOLOGÍA.....	21
6. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	22
6.1 PROPUESTA	22
6.2 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO	23
6.2.1 DESENROLLADOR.....	24
6.2.1.1 ESTRUCTURA	24
6.2.1.2 SOPORTES Y COJINETES.....	25

6.2.1.3 EJE PRINCIPAL	26
6.2.1.4 SISTEMA MECÁNICO DE BRAZOS RETRÁCTIL	27
6.2.2 ENROLLADOR	28
6.2.2.1 ESTRUCTURA	28
6.2.2.4 ESTRUCTURA DE SUJECIÓN.....	29
7. MOTORREDUCTOR	30
7.1 TORNILLO SIN FIN.....	31
7.2 CORONA	33
8. CAPACIDAD DE TRABAJO DE LA MÁQUINA	35
8.1 PARÁMETROS MÍNIMOS.....	36
8.2 PARÁMETROS MÁXIMOS	38
9. PLANOS DEL DISEÑO.....	40
ALTERNATIVAS.....	51
ANEXOS	51
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Características del soporte RASE 60XL-N.....	25
Tabla 2. Características del soporte RASE 75XL	25
Tabla 3. Parámetros de transmisiones sin fin corona	31
Tabla 4. Parámetros del tornillo sin fin.....	33
Tabla 5. Parámetros de la corona.....	34
Tabla 6. Rango de medidas de trabajo de la máquina.....	36
Tabla 7. Dimensiones mínimas.....	37
Tabla 8. Dimensiones máximas	40

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Representación esquemática del transformador	15
Figura 2. Esquema básico de funcionamiento de un transformador ideal	16
Figura 3. Partes del tanque de un transformador.....	18
Figura 4. Shunt magnético	20
Figura 5. Ubicación de shunt magnético.....	20
Figura 6. Dispositivo para fabricación de shunt magnéticos	22
Figura 7. Estructura del desenrollador	24
Figura 8. Sección de estructura del desenrollador.....	24
Figura 9. Soporte RASE 60XL-N	25
Figura 10. Soporte RASE 75XL	25
Figura 11. Eje principal	26
Figura 12. Sistema mecánico retráctil.....	27
Figura 13. Estructura del enrollador.....	28
Figura 14. Cruceta de sujeción	29
Figura 15. Esquema tornillo sin fin.....	31
Figura 16. Esquema corona.....	33
Figura 17. Esquema del enrollador	35
Figura 18. Esquema de Shunt magnético.....	36
Figura 19. Esquema de Shunt magnético	38
Figura 20. Plano eje principal	40
Figura 21. Plano de cruceta de sujeción.....	41
Figura 22. Plano de soporte para silicio (Si)	42
Figura 23. Plano estructura de enrollador.....	43
Figura 24. Plano mesa de enrollador	44
Figura 25. Plano placa guía	45
Figura 26. Plano paleta.....	46
Figura 27. Plano camisa	47

Figura 28. Plano buje.....	48
Figura 29. Plano palanca	49
Figura 30. Plano placa rígida	50

LISTA DE ANEXOS

	Pág
Anexo 1: Cálculo del costo de fabricación de Tank Shunts	51
Anexo 2: Capacidad de trabajo de la máquina.	51
Anexo 3: Alternativa 1.....	51
Anexo 4: Alternativa 2.....	51

1. INTRODUCCIÓN

Cuando circula corriente por un conductor eléctrico se crea un campo magnético alrededor de él; si se encuentra en la cercanía un metal en este se induce una corriente eléctrica, en el caso de los transformadores esto es conocido como pérdidas parásitas. Las corrientes parásitas se producen debido a que el núcleo es conductor de la electricidad, por lo que se organizan circuitos en forma de espiras cerradas rodeando las líneas de flujo magnético. Como el flujo es variable en el tiempo, se inducen en las espiras fuerzas electromotrices, y estas a su vez producen corrientes circulantes en forma de remolino. Las pérdidas se producen debido al calentamiento del núcleo, y la energía perdida se induce desde el primario.

Para disminuir estas pérdidas en el tanque, es necesario redireccionar el flujo magnético evitando que este llegue a las partes metálicas del transformador, esto se puede lograr mediante shunts magnéticos colocados en la pared del tanque para redirigir el flujo magnético disperso. Estos shunts magnéticos, se fabrican de láminas de silicio apiladas una encima de otra.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente trabajo se busca desarrollar una propuesta de diseño mecánico en CAD para la creación de un dispositivo con el cual la empresa HITACHI ABB Power Grids pueda fabricar directamente sus propios shunts magnéticos para sus transformadores de potencia.

También se realizó un análisis de costos que corrobore los beneficios económicos y el aumento de calidad en el producto al implementar este proyecto (ver anexo 1).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

2.1.1 Desarrollar un diseño mecánico en CAD como propuesta para la creación de un dispositivo de fabricación de shunts magnéticos en transformadores de potencia para la empresa ABB Ltda.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.2.1 Investigar y recopilar información acerca del proceso de tercerización de los shunts magnéticos usados en la empresa HITACHI ABB Power Grids.

2.2.2 Realizar un análisis de costos del proceso que permita corroborar la necesidad de crear e implementar este proyecto (ver anexo 1).

2.2.3 Determinar especificaciones técnicas y parámetros de diseño necesarios para la fabricación de tank shunt.

2.2.5 Determinar los rangos de trabajo de la maquina (capacidad, ver anexo 2).

2.2.4 Elaboración de modelo y planos del dispositivo mediante el uso de software CAD, aprovechando la estructura mecánica del proyecto.

2.2.6 Elaborar herramienta en Excel para el área de ingeniería con las dimensiones posibles que pueden tener los tank shunt fabricados con el dispositivo (ver anexo 2).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, la fabricación de los shunts magnéticos para la empresa HITACHI ABB Power Grids. se desarrolla mediante en un proceso tercerizado, ya que la empresa no cuenta con un dispositivo que le permita realizar la fabricación directa de los mismos; por lo que HITACHI ABB Power Grids. cuenta con un proveedor en la ciudad de Bogotá, al cual le envía tanto la materia prima como los diseños de los shunts magnéticos requeridos como insumos para la fabricación de sus transformadores de potencia.

3.2 JUSTIFICACIÓN

La demanda del mercado industrial ha logrado hacer que las empresas adquieran nuevas estrategias de comercio y producción que suplen las necesidades del consumidor, debido a esto, HITACHI ABB Power Grids se ha enfocado tanto en la disminución de tiempos de diseño y producción, como en la calidad de sus productos, con el fin de evitar cualquier reproceso que le genere pérdidas a la compañía; para ello, HITACHI ABB quiere realizar mejoras en los desarrollos de sus diseños y fabricación, con lo cual la empresa podría obtener muchas ganancias.

Teniendo en cuenta la información anterior, la empresa HITACHI ABB Power Grids. detecta la necesidad de desarrollar un dispositivo propio que les permita fabricar directamente los shunts magnéticos que requiere, eliminando así los elevados costos de fabricación y transporte en los que incurre la empresa por el envío de la materia prima y la recepción del producto terminado.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 TRANSFORMADOR ELÉCTRICO

4.1.1 DEFINICIÓN

Un transformador es un dispositivo eléctrico estático, que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia.

La potencia que entra al equipo, en un transformador ideal, es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño, entre otros factores.

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, básicamente, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio. Estas bobinas o devanados se denominan primario y secundario dependiendo cuál de ellos corresponda a la entrada o salida del sistema de transformación respectivamente.

Al ser un dispositivo estático tiene ventajas sobre las máquinas rotativas ya que no presenta pérdidas mecánicas, las únicas pérdidas existentes en el transformador son eléctricas y del hierro, es por esta razón que su eficiencia y rendimiento son muy altos.

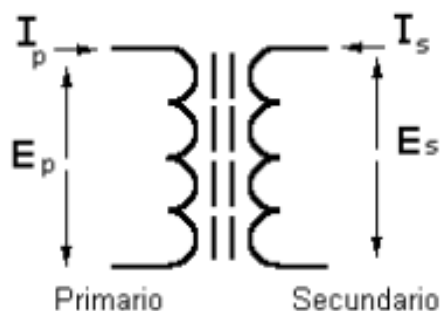


Figura 1. Representación esquemática del transformador

4.1.2 FUNCIONAMIENTO

Si se aplica una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, las variaciones de intensidad y sentido de la corriente alterna crearán un campo magnético variable dependiendo de la frecuencia de la corriente. Este campo magnético variable originará, por inducción, la aparición de una fuerza electromotriz en los extremos del devanado secundario. La relación entre la fuerza electromotriz inductora (E_p), la aplicada al devanado primario y la fuerza electromotriz inducida (E_s), la obtenida en el secundario, es directamente proporcional al número de espiras de los devanados primario (N_p) y secundario (N_s).

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

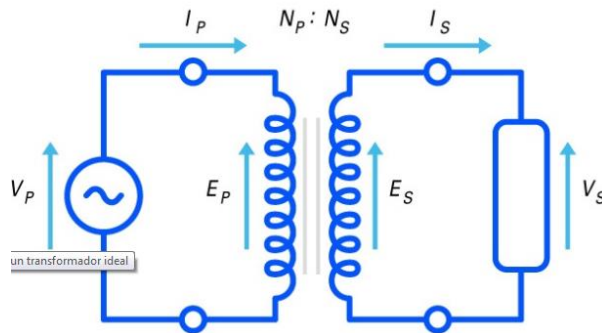


Figura 2. Esquema básico de funcionamiento de un transformador ideal

4.2 TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Son aquellos transformadores que manejan grandes magnitudes de voltio amperios (VA), los cuales se expresan en KVA (kilo voltio amperios) o en MVA (mega voltio amperios). Usualmente en la planta de transformadores de HITACHI ABB en Dosquebradas, se considera transformador de potencia cuando su capacidad es de un valor a partir de: 5 MVA hasta potencias del orden de 100 MVA trifásicos.

Estos se utilizan para subtransmisión y transmisión de energía eléctrica en alta y media tensión. Se aplican en subestaciones transformadoras, centrales de generación y en grandes usuarios.

4.3 PARTE ACTIVA DEL TRANSFORMADOR

La parte activa de un transformador está compuesto por, núcleo, bridas, bobinas y aislamientos.

4.3.1. NÚCLEO: Está formado por chapas de acero al silicio aisladas entre ellas. El núcleo sirve como medio conductor para el flujo magnético y esqueleto para la resistencia mecánica de la Parte Activa

4.3.2. BRIDAS: La función es dar soportabilidad y evitar desplazamientos del núcleo.

4.3.3. BOBINA: Conjunto de espiras de cobre o aluminio aisladas enrolladas a través del núcleo, conectadas en serie.

4.3.4. AISLAMIENTOS: Son la vida útil del equipo en general y se encuentran en forma sólida, líquida o gaseosa.

4.4 TANQUE

El tanque de un transformador está hecho generalmente de acero y desempeña las siguientes funciones:

- Proveer protección mecánica a la parte activa (núcleo-bobina)
- Ayuda a contener el líquido refrigerante en caso de que se utilice.
- Protege al aceite del aire, la humedad y contaminación externa.
- Permitir que el transformador “respire”.
- Por medio de los radiadores permite que el transformador mantenga una temperatura adecuada para su correcto funcionamiento.

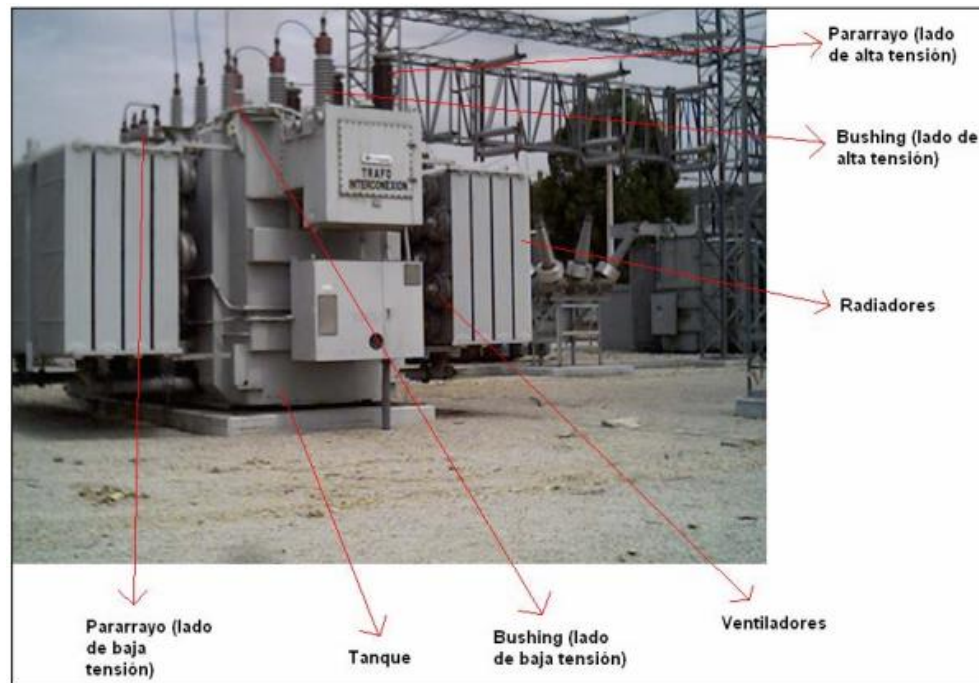


Figura 3. Partes del tanque de un transformador

4.5 PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES

Ninguna máquina eléctrica es ideal, es decir siempre tienen algún tipo de pérdida al realizar un trabajo, siendo estas estáticas o dinámicas. En el caso del transformador estas pérdidas son estáticas.

Un transformador real tiene pérdidas por diferentes circunstancias, no solo por una, y sin embargo todas se manifiestan en forma de calor, es decir, si un transformador tiene pérdida de potencia, esta pérdida se transformará en calor debido al principio de la conservación de energía.

En un transformador se producen las siguientes pérdidas:

- Pérdidas por corriente de Foucault (PF).
- Pérdidas por histéresis (PH).
- Pérdidas en el cobre del bobinado (P_{cu}).

Las pérdidas por corriente de Foucault (PF) y por histéresis (PH) son las llamadas pérdidas en el hierro (P_{Fe}).

4.5.1 PÉRDIDAS POR CORRIENTES DE FOUCAULT

Las corrientes de Foucault se producen en cualquier material conductor cuando se encuentra sometido a una variación del flujo magnético; si se encuentra en la cercanía un metal, en este se induce una corriente eléctrica, en el caso de los transformadores esto es conocido como pérdidas parásitas, las cuales consisten en las pérdidas del campo debido al flujo magnético que se escapa fuera del elemento activo (núcleo-bobinas) del transformador, también llamado flujo disperso. Estos flujos dispersos, crean corrientes de Foucault o Eddy en cualquier componente metálico presente en la estructura del transformador; y como consecuencia reducen la eficiencia del transformador. A medida que el tamaño y la capacidad del transformador de potencia aumenta, las pérdidas producidas por los flujos dispersos también aumentan. Además, las pérdidas parásitas pueden causar sobrecalentamiento local reduciendo la vida útil del transformador y su confiabilidad operativa.

4.6 SHUNTS MAGNÉTICOS

Los shunts magnéticos se fabrican de láminas de acero magnético apiladas una encima de otra o enrolladas para luego ser prensadas, se usan para impedir que el flujo parásito golpee los componentes metálicos del transformador, se colocan en la pared del tanque y en las estructuras del marco de sujeción del elemento activo. Un shunt magnético provee un camino de baja de reluctancia para el flujo disperso que viaja hacia la pared del tanque y lo reencauza para los devanados. Consecuentemente, un shunt magnético reduce las pérdidas parásitas.

Por esta razón, los shunts magnéticos son colocados delante de las bobinas de forma simétrica alrededor del tanque.

En la práctica algunos fabricantes, como es el caso de HITACHI ABB Power Grids, los hacen del desperdicio del acero al silicio que se genera internamente en la compañía.



Figura 4. Shunt magnético

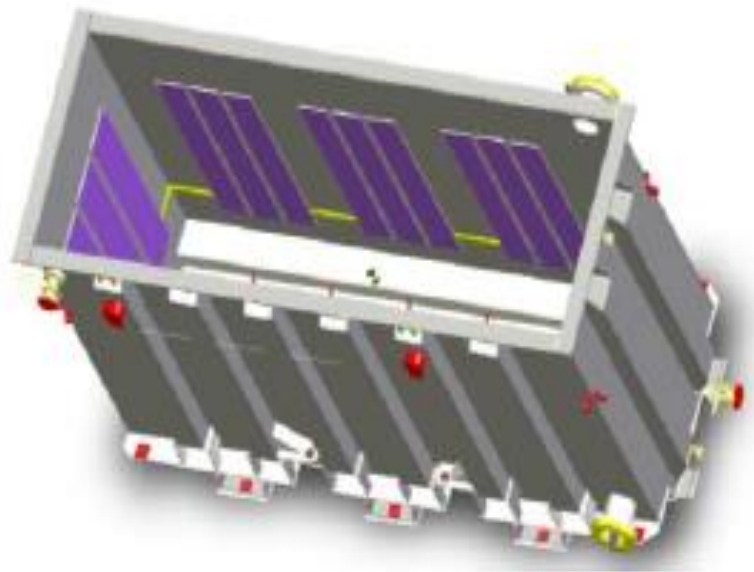


Figura 5. Ubicación de shunt magnético

5. MATERIALES Y METODOLOGÍA

5.1 MATERIALES

La herramienta principal que se utilizará en la realización de este proyecto será el software SOLIDWORKS, el cual es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. Este es un software que ofrece soluciones en los aspectos implicados en el desarrollo de productos y procesos, maximizando la innovación y la productividad de los recursos de ingeniería. Adicionalmente, SOLIDWORKS CAD 3D permite reducir considerablemente el tiempo de los ciclos de diseño, produce un ahorro de tiempo y costos e incrementa la calidad de los productos diseñados; por dichas razones se seleccionó este software para llevar a cabo el diseño del dispositivo.

5.2 METODOLOGÍA

La metodología que se utilizará para cumplir con los objetivos planteados en la propuesta del diseño del dispositivo de fabricación de shunts, se realizará a través de la puesta en práctica de los conocimientos previos adquiridos en el Software CAD SOLIDWORKS, en conjunto con la experimentación y el desarrollo de nuevas competencias técnicas en el ámbito académico y laboral. La participación en el desarrollo del proyecto permitirá generar conocimientos en los procedimientos para el diseño y fabricación de maquinaria industrial.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 PROPUESTA

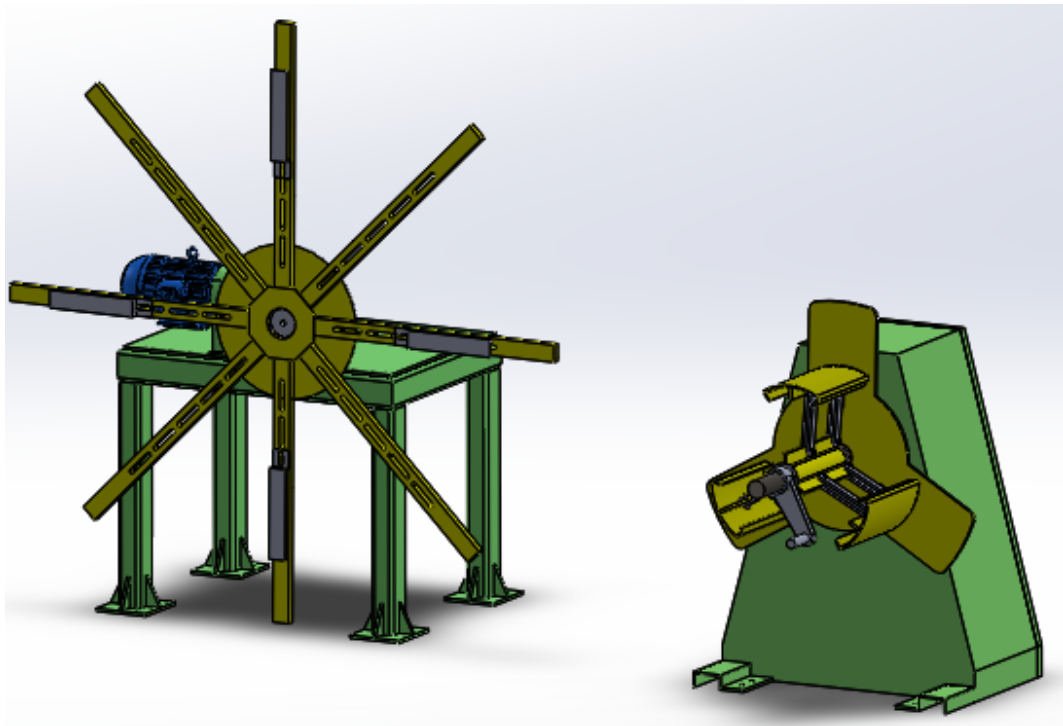


Figura 6. Dispositivo para fabricación de shunt magnéticos

El diseño elegido con el fin de desarrollar un dispositivo para la fabricación de shunts magnéticos está compuesto por dos partes fundamentales para su adecuado funcionamiento, estas partes son: un desenrollador y un enrollador que está unido a un motor eléctrico por medio de un reductor.

Teniendo en cuenta dicha información, se inicia con la descripción del desenrollador, el cual consta de una estructura en acero estructural (ASTM A36), que tiene como objetivo soportar dos chumaceras con sus respectivos cojinetes, sobre los cuales está montado el eje principal. Sobre el eje está montado un sistema mecánico de brazos retractiles que funciona mediante el movimiento giratorio de una palanca.

De igual forma, se procede a describir el enrollador, que también está compuesto por una estructura en forma de mesa compuesta por tubos rectangulares, la cual funciona como base; adicionalmente cuenta con 16 zapatas ubicadas en la parte inferior. Sobre esta estructura está ubicado un motor eléctrico acoplado a un reductor, en donde, sobre su eje de salida está montada una cruceta de sujeción de sección rectangular.

6.2 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

Para el diseño del dispositivo se realizó un proceso de investigación de alternativas y posibles prototipos existentes similares para que el diseño fuera el más óptimo y práctico posible, sin embargo, durante este proceso la empresa ABB Ltda proporcionó material gráfico sobre un dispositivo usado en la planta de ABB en Tailandia para la fabricación de sus shunts magnéticos, este material fue usado como base principal para la realización de este proyecto.

Teniendo la información anterior, se inició el proceso de diseño del dispositivo, el cual se describe detalladamente a continuación en cada uno de sus componentes.

6.2.1 DESENROLLADOR

6.2.1.1 ESTRUCTURA

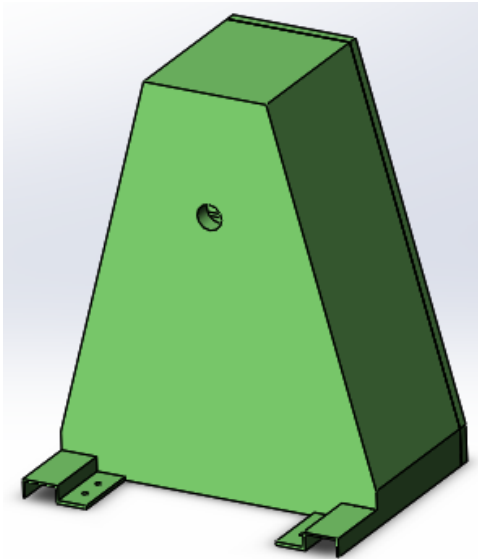


Figura 7. Estructura del desenrollador

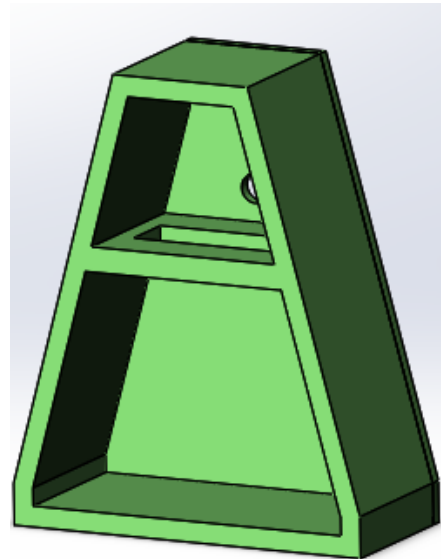


Figura 8. Sección de estructura del desenrollador

La estructura del desenrollador puede definirse como el cuerpo sobre el cual estará soportado el eje principal con sus respectivos soportes. La estructura presentada está formada por un cuerpo con un espesor de 50 mm, el material del cual estará fabricada esta estructura es de acero estructural ASTM A36; también consta de dos pequeñas bases soldadas en los extremos inferiores que servirán para anclar el desenrollador al suelo por medio de pernos de anclaje M15 de 100 mm de longitud.

6.2.1.2 SOPORTES Y COJINETES

Se seleccionaron soportes de fundición gris y rodamientos autoalineables con anillo tensor excéntrico.

RASE 60XL-N

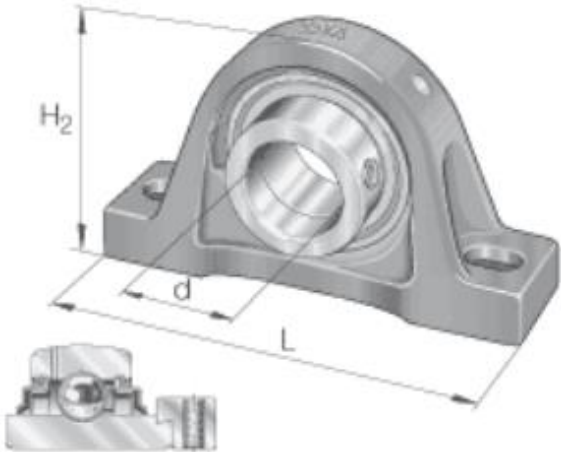


Figura 9. Soporte RASE 60XL-N

	d mm	L mm	H2 mm
RASE60-N	60	240	140
m	4,79 kg	Peso	
Cr	56000 N	Capacidad de carga dinámica, radial	
Cor	36000 N	Capacidad de carga estática, radial	
	ASE12	Denominación del soporte	
	GE60-XL-KRR-B	Denominación del rodamiento	

Tabla 1. Características del soporte RASE 60XL-N

RASE 75XL

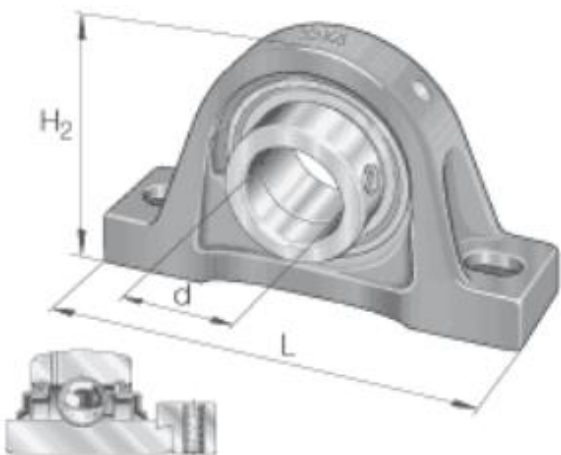


Figura 10. Soporte RASE 75XL

	d mm	L mm	H2 mm
RASE75	75	265	164
m	6,58 kg	Peso	
Cr	66000 N	Capacidad de carga dinámica, radial	
Cor	44500 N	Capacidad de carga estática, radial	
	ASE15	Denominación del soporte	
	GE75-XL-KRR-B	Denominación del rodamiento	

Tabla 2. Características del soporte RASE 75XL

6.2.1.3 EJE PRINCIPAL

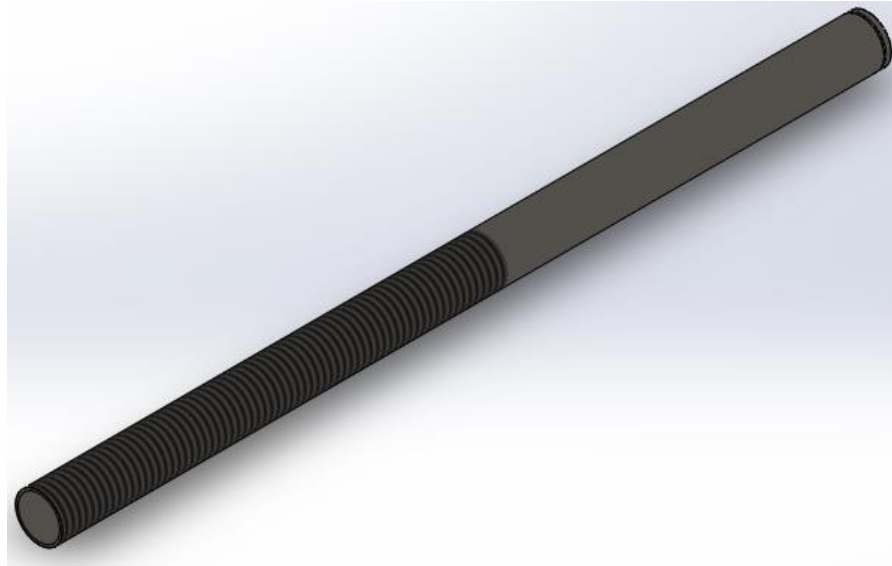


Figura 11. Eje principal

El eje principal tiene un diámetro de 60 mm y una longitud de 1060 mm, de los cuales 570 mm están roscados con rosca M60X5.5; el material del cual estará fabricado el eje será de Acero AISI 4340. Sobre este eje estará ubicado un sistema mecánico de brazos retractiles que funciona mediante el movimiento giratorio de una palanca. Esta palanca irá montada sobre la parte roscada del eje, la cual tendrá una rosca interna igual a la de este.

6.2.1.4 SISTEMA MECÁNICO DE BRAZOS RETRÁCTIL

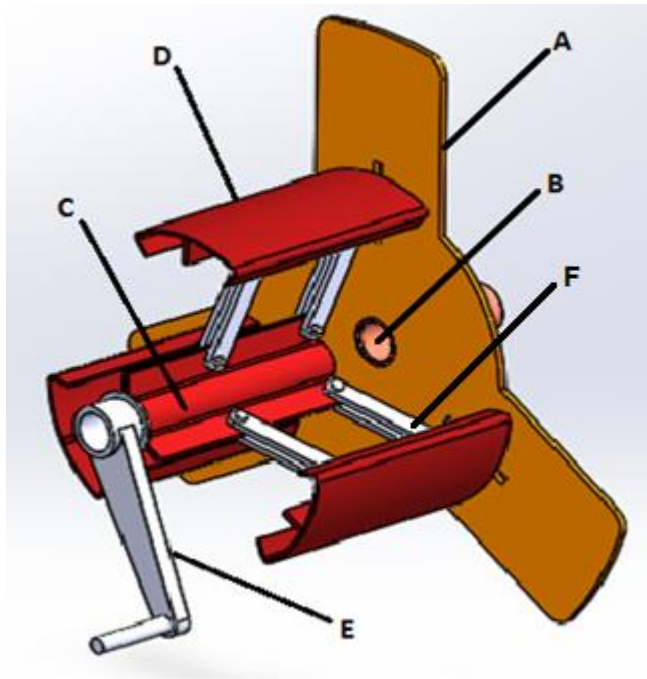


Figura 12. Sistema mecánico retráctil

A) Placa guía: Esta placa tendrá tres ranuras por las cuales se desplazarán tres patines que a su vez estarán conectados a los brazos retráctiles y guiarán el movimiento retráctil de los mismos. La placa estará hecha de lámina de acero HR-A36 de 10 mm. Esta placa irá apoyada encima de un buje de bronce.

B) Buje: Buje de bronce de 200 mm de longitud con un diámetro interno de 60 mm y diámetro externo de 70 mm. Este elemento sirve de apoyo y facilita la rotación del eje, es decir, le brindan la protección al eje para girar libremente.

C) Camisa: La camisa estará compuesta por 3 láminas unidas por medio de tornillos M10 que, a su vez unirán (mediante placas rígidas de sección rectangular) la camisa con las paletas en donde se ubicará el material a trabajar.

Esta camisa se desliza sobre el eje principal al aplicarle un movimiento de rotación a la palanca. Al igual que la placa guía, las láminas que componen la camisa estarán hechas de lámina de acero HR-A36 de 10 mm.

D) Paleta: Sobre este elemento estará el silicio que va a ser enrollado para luego dar forma al shunt magnético. Este elemento estará unido a la camisa mediante tornillos M10 y a su vez, también a la placa guía. Estas paletas se desplazarán en la placa guía por medio de las ranuras generando así el movimiento retráctil del sistema.

E) Palanca: Al accionarse esta palanca, mediante un movimiento de rotación, impulsará la camisa haciendo que esta se deslice sobre el eje; de este modo se controlará el movimiento retráctil de los brazos.

F) Placa rígida: Estas placas servirán para unir la camisa con las paletas mediante tornillos M10. Gracias a su unión permitirá el movimiento retráctil del sistema mecánico. Estarán hecha de lámina de acero HR-A36 de 10 mm.

6.2.2 ENROLLADOR

6.2.2.1 ESTRUCTURA

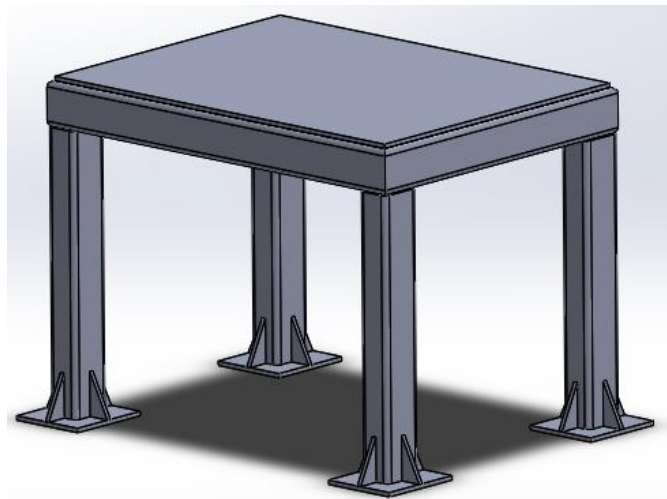


Figura 13. Estructura del enrollador

La estructura del enrollador tiene como finalidad soportar un motor eléctrico acoplado a un reductor, por medio del cual, se adaptará una velocidad adecuada que permitirá el funcionamiento de forma segura y eficiente del dispositivo. Esta estructura con

forma de mesa consta de tubos rectangulares (4 X 3 X 0.25 pulgadas) de acero estructural ASTM A36 unidos entre sí por medio de soldadura, y a su vez a una placa fabricada en lámina de acero HR-A36 de 10 mm de espesor. También cuenta con 16 zapatas ubicadas en la parte inferior para mejorar la estabilidad de esta.

6.2.2.4 ESTRUCTURA DE SUJECCIÓN

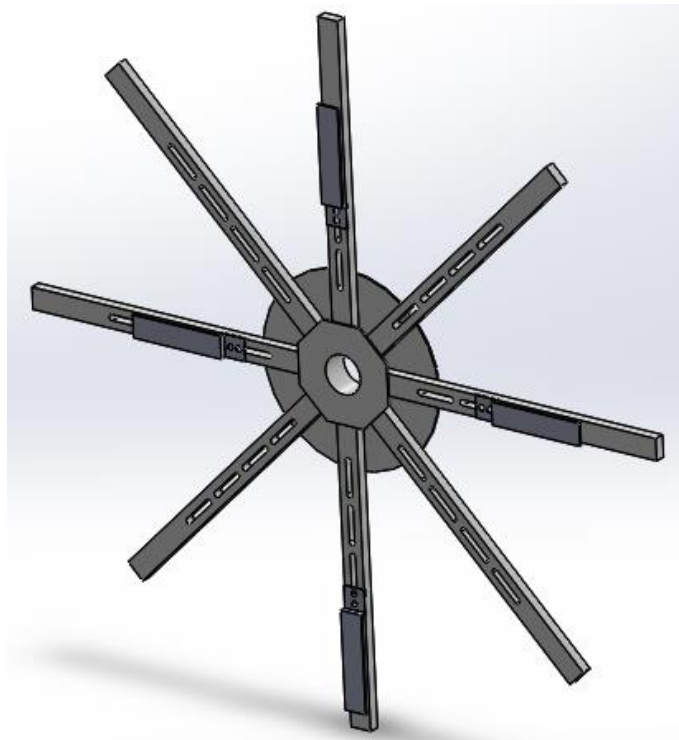


Figura 14. Cruceta de sujeción

Sobre este elemento irá el silicio a enrollar para la fabricación de los shunts magnéticos, tendrá una sección transversal rectangular y el material para su fabricación será acero estructural ASTM A36. Esta cruceta de sujeción tendrá ranuras a lo largo de sus brazos separadas entre sí 20 mm que servirán para calibrar la medida requerida del shunt a fabricar, la calibración de la medida se hará mediante soportes unidos a la estructura base por medio de tornillos de cabeza hexagonal M14.

7. MOTORREDUCTOR

El motorreductor consta de un motor eléctrico que entrega 1.2 hp (0.9 KW) de potencia con una velocidad de 855 rpm, este motor estará acoplado a un sistema de transmisión sin fin corona, el cual tiene una relación de transmisión 15:1, para así transmitir el movimiento al eje principal con una velocidad de trabajo de 57 rpm. El sistema de transmisión se selecciona partiendo del siguiente calculo:

Ecuación [1]:

$$i = \frac{N1}{N2}$$

Donde:

N1: Velocidad (rpm) del eje del motor

N2: Velocidad (rpm) de salida del motorreductor

$$i = \frac{855 \text{ rpm}}{57 \text{ rpm}} = 15$$

Se elige un tornillo de dos entradas.

Para determinar el número de dientes de la corona, se parte de la siguiente ecuación de transmisión.

Ecuación [2]:

$$Z2 = \frac{N1 * Z1}{N2}$$

Donde:

N1: Velocidad (rpm) del eje del motor

N2: Velocidad (rpm) de salida del motorreductor

Z1: Número de entradas del tornillo

Z2: Número de dientes de la corona

$$Z2 = \frac{855 \text{ rpm} * 2}{57 \text{ rpm}}$$
$$Z2 = 30$$

Teniendo en cuenta la relación de transmisión ($i=15$), se corrobora el número de dientes y el número de entradas seleccionados para la corona y el tornillo sin fin respectivamente, esto se hace con base en la tabla 3 que muestra los valores preferibles.

i	z_1	z_2	q
15	2	30	15
20		40	
25		50	

Tabla 3. Parámetros de transmisiones sin fin corona

7.1 TORNILLO SIN FIN

Modulo (M): 2

No. De entradas (n): 2

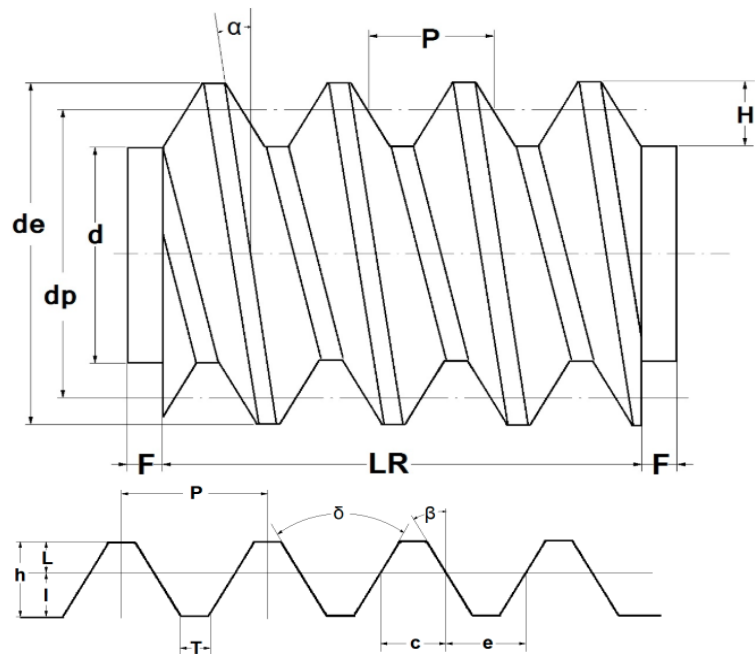


Figura 15. Esquema tornillo sin fin

Módulo (M) =	M	2.00 mm.
Número de Dientes (N) =	N	30 dientes
Entradas del Tornillo Sin Fin (n) =	n	2 entrada(s)
paso (p) =	$\pi * M$	6.28 mm.
Altura del Filete (h) =	$2,167 * M$	4.33 mm.
diámetro primitivo (dp) =	selección * M	24.0 mm.
diámetro exterior (de) =	$dp + (2 * M)$	28.0 mm.
diámetro interior (d) =	$de - (2 * h)$	19.33 mm.
Ángulo del filete (α) =	$\arctg (M(n))/dp$	9° 27' 44.36"
espesor del filete (e) =	$p/2$	3.14 mm.
espacio entre dientes (c) =	$p/2$	3.14 mm.
altura de la cabeza del filete (L) =	M	2.00 mm.
altura del pie del diente (l) =	$1,167 * M$	2.33 mm.
beta (β) =	selección	14° 30'
ancho del fondo del filete (T) =	$(PCot\beta/4)-l/(2tg\beta)$	1.93 mm.

longitud roscada (LR) =	$P(4.5+(N/50))$	32.04 mm.
extremos sin rosca (f) =	P	6.28 mm.
Radio de la cabeza (r) =	$0,05 \cdot P$	0.31 mm.
Delta (δ) =	$2 \cdot \beta$	29°

Tabla 4. Parámetros del tornillo sin fin

7.2 CORONA

Modulo: 2

Numero de dientes (N): 30

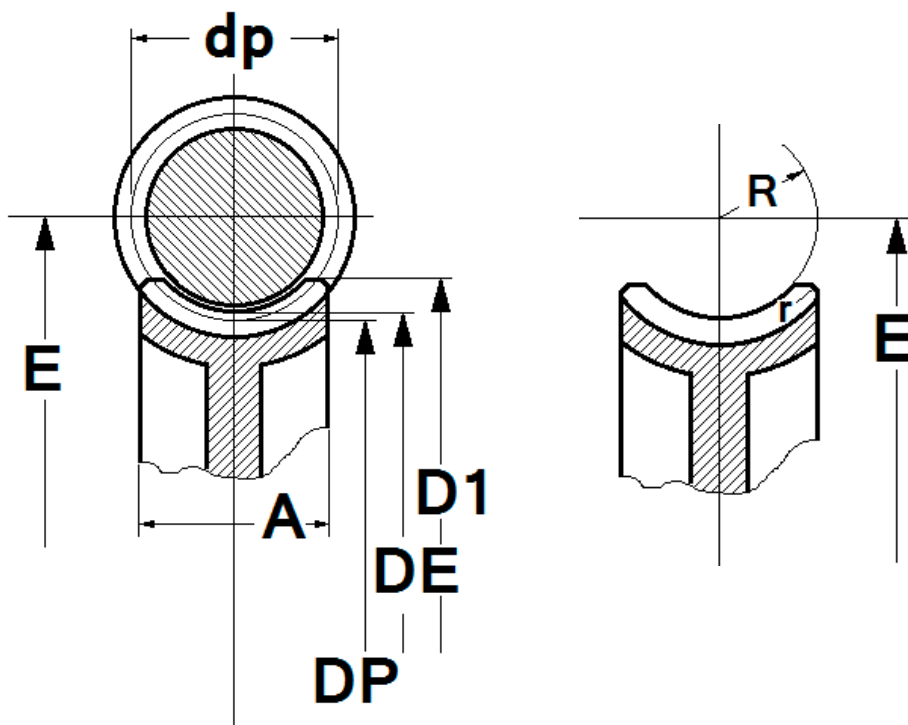


Figura 16. Esquema corona

Diámetro Primitivo (DP) =	$M \cdot N$	60.0 mm.
Diámetro Exterior (DE) =	$DP + (2 \cdot M)$	64.0 mm.
Paso (P) =	$\pi \cdot M$	6.28 mm.
Altura de Diente (H) =	$2,167 \cdot M$	4.33 mm.
Diámetro Mayor y Sobre aristas (D1) =	$DE + (0,4775 \cdot P)$	67.00 mm.
Ancho de la Corona (A) =	$6 + (2,38 \cdot P)$	20.95 mm.
Concavidad Periférica (R) =	$(0,5 \cdot dp) - M$	10.00 mm.
Radio de la Cabeza (r) =	$0,25 \cdot P$	1.57 mm.
Distancia entre centros (E) =	$(DP + dp)/2$	42.0 mm.

Tabla 5. Parámetros de la corona

8. CAPACIDAD DE TRABAJO DE LA MÁQUINA

Se procede a determinar el rango de dimensiones en las cuales la máquina puede trabajar, y para este cálculo, el valor de los diámetros se convierte en la principal variable para tener en cuenta:

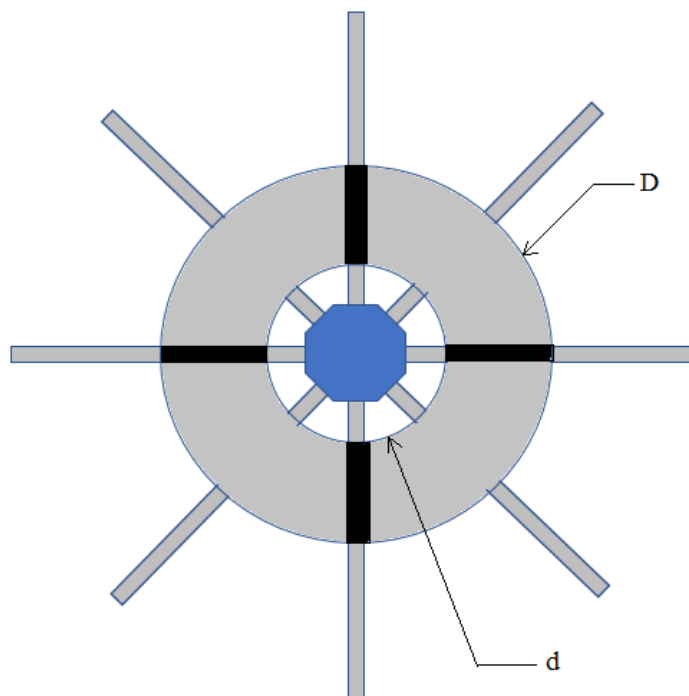


Figura 17. Esquema del enrollador

De esta forma, se determina que la máquina tiene un valor mínimo de trabajo para el diámetro interno (d) de 445 mm, mientras que para el diámetro externo (D) el valor mínimo es de 445,46 mm, este último valor se calcula sumándole 2 veces el espesor del fleje (e) de silicio enrollado al valor del diámetro interno (d); $d+2e$.

Y así mismo, la máquina cuenta con un valor máximo de trabajo para el diámetro interno (d) de 1350 mm, mientras que para el diámetro externo (D) el valor máximo es de 1780 mm.

Finalmente, se tiene que los valores de los rangos de trabajo de la máquina son los siguientes:

Rango de medidas para el diametro interno (d)	
d min. [mm]	445
d max [mm]	1350

Rango de medidas para el diametro externo (D)	
D min. [mm]	445,46
D max. [mm]	1780,0

Tabla 6. Rango de medidas de trabajo de la máquina

8.1 PARÁMETROS MÍNIMOS

Teniendo los valores mínimos de los diámetros, se procede a calcular los parámetros mínimos que pueden tener los shunts al ser fabricados en la máquina:

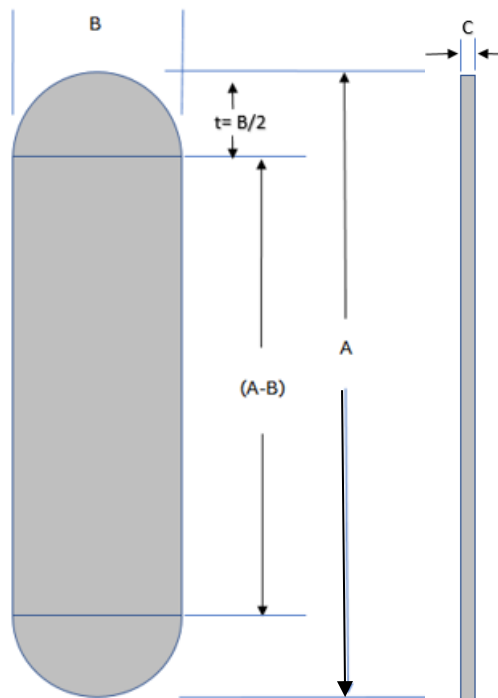


Figura 18. Esquema de Shunt magnético

Donde:

A: Altura total del shunt magnético.

B: Ancho del shunt magnético.

C: Ancho del fleje.

Ecuación [3]:

$$(A - B)_{min} = \frac{d * \pi}{2}$$

$$(A - B)_{min} = \frac{445mm * \pi}{2} = 699mm$$

Ecuación [4]:

$$D_{min.} = d_{min} + 2e$$

$$D_{min} = 445mm + 2 * 023mm = 445.46mm$$

Siendo “e” el espesor del fleje.

Ecuación [5]:

$$B_{min.} = D_{min} - d_{min}$$

$$B_{min} = 445.46mm - 445 = 0.46mm$$

Ecuación [6]:

$$A_{min.} = (A - B)_{min} + B_{min}$$

$$A_{min.} = 699mm + 0.46mm = 699.46mm$$

Ecuación [7]:

$$t_{min} = \frac{B_{min}}{2}$$

$$t_{min} = \frac{0.46}{2} = 0.23mm$$

En conclusión, se puede afirmar que los parámetros mínimos para la fabricación de Thank Shunts serán correspondientes a:

Altura del shunt (A)		Ancho del fleje (C)	
A min. [mm]	699.46	C min. [mm]	10
Ancho del shunt (B)		Espesor (t)	
B min. [mm]	0.46	t min. [mm]	0.23

Tabla 7. Dimensiones mínimas

8.2 PARÁMETROS MÁXIMOS

Teniendo los valores máximos de los diámetros, se procede a calcular los parámetros máximos que pueden tener los shunts al ser fabricados en la máquina:

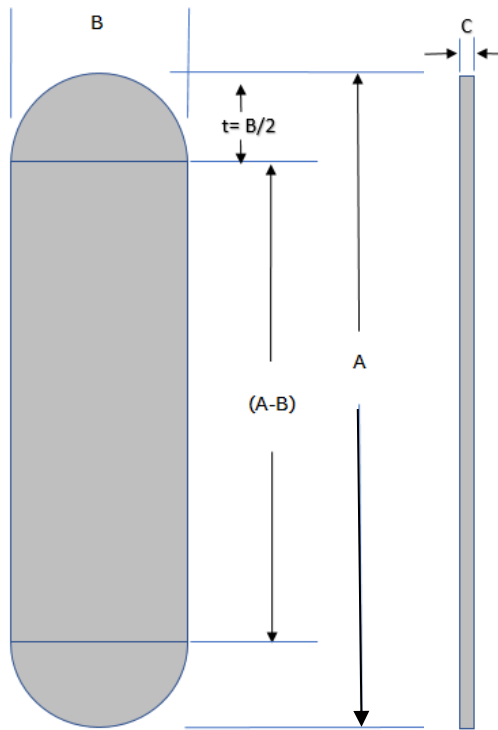


Figura 19. Esquema de Shunt magnético

Donde:

A: Altura total del shunt magnético.

B: Ancho del shunt magnético.

C: Ancho del fleje.

Ecuación [8]:

$$(A - B)_{max.} = \frac{\pi * d}{2}$$
$$(A - B)_{max.} = \frac{1350mm * \pi}{2} = 2121mm$$

Diámetro externo máximo (D_{max}):

D_{max} : Valor dado por dimensiones de la maquina

$$D_{max.} = 1780mm$$

Ancho máximo (B_{max}):

B_{max} : Valor dado por dimensiones de la maquina

$$B_{max.} = 490mm$$

Ecuación [9]:

$$A_{max.} = (A - B)_{max} + B_{max}$$
$$A_{max.} = 2121mm + 490mm = 2545.58mm$$

Ecuación [10]:

$$t_{max.} = \frac{B_{max}}{2}$$
$$t_{max.} = \frac{490}{2} = 245mm$$

En conclusión, se puede afirmar que los parámetros máximos para la fabricación de Thank Shunts serán correspondientes a:

Altura del shunt (A)		Ancho del fleje (C)	
A max. [mm]	2545.58	C max. [mm]	25
Ancho del shunt (B)		Espesor (t)	
B max. [mm]	490	t max. [mm]	245

Tabla 8. Dimensiones máximas

9. PLANOS DEL DISEÑO

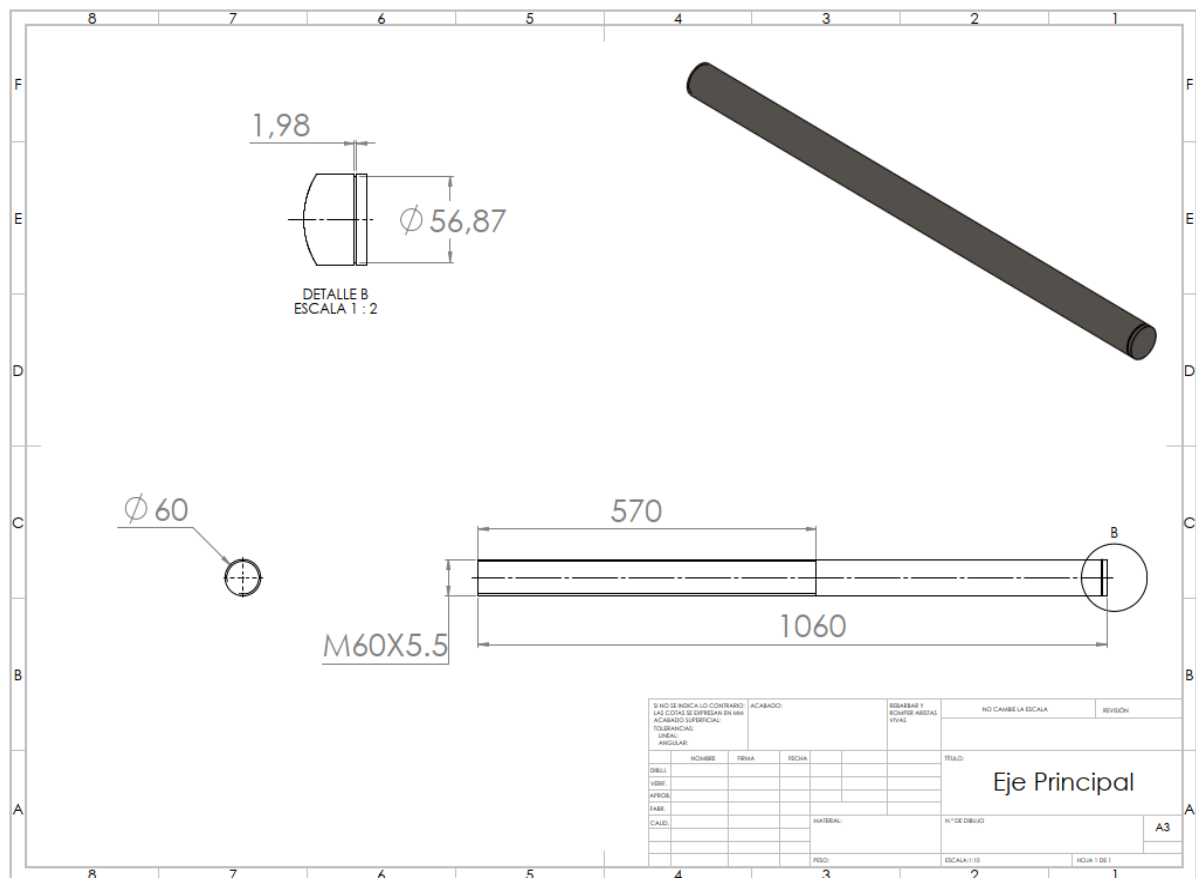


Figura 20. Plano eje principal

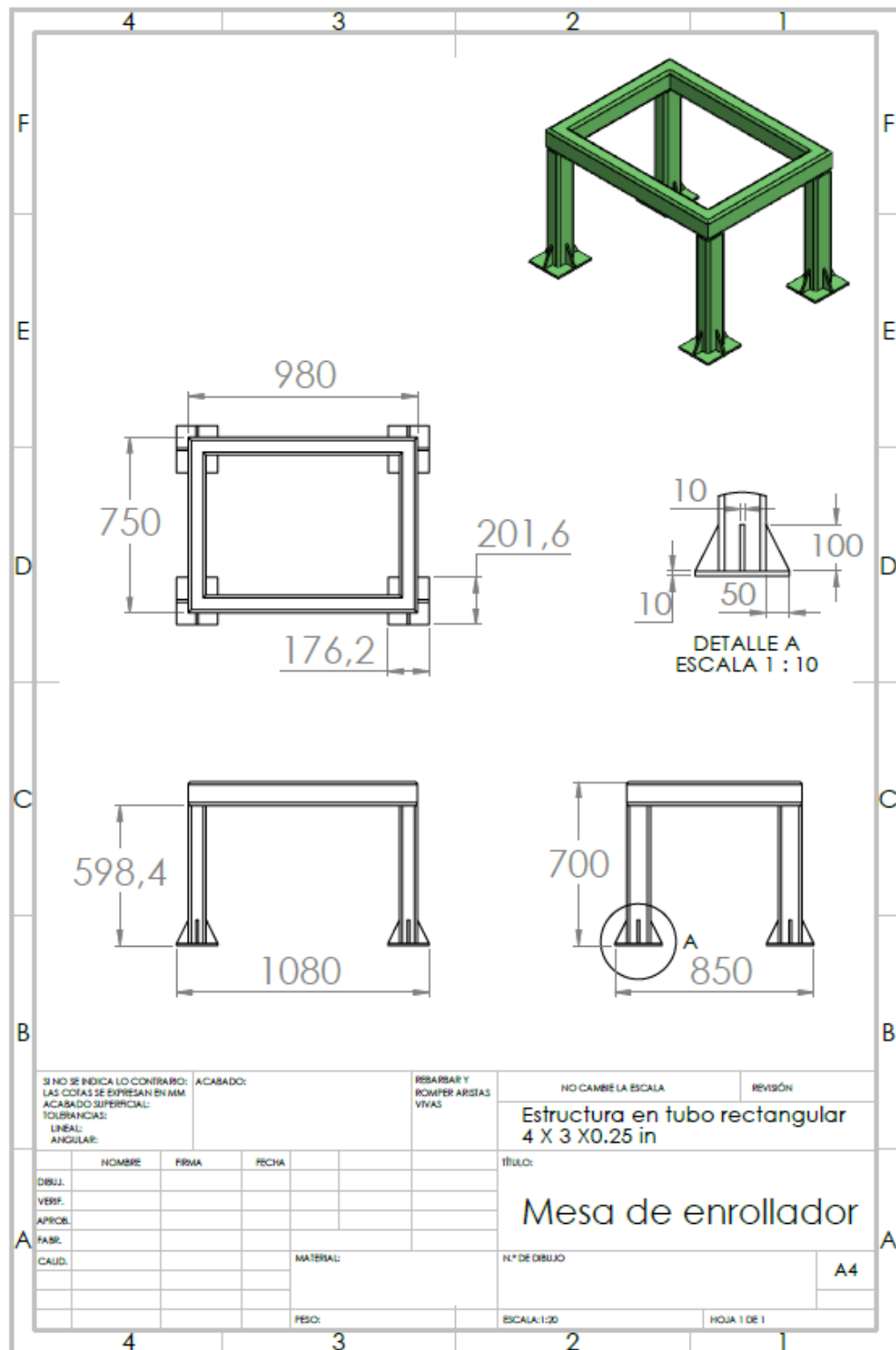


Figura 24. Plano mesa de enrollador

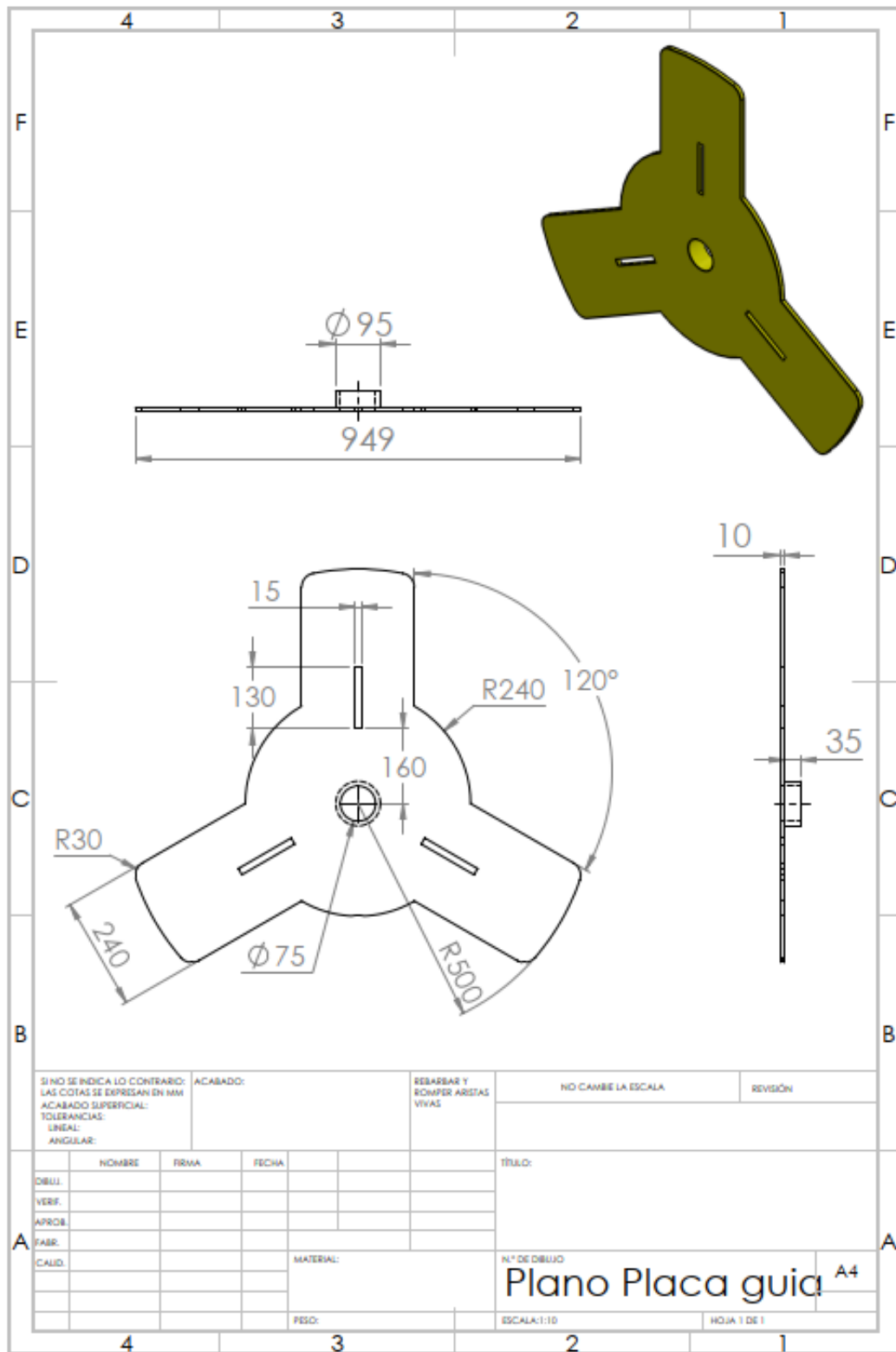


Figura 25. Plano placa guía

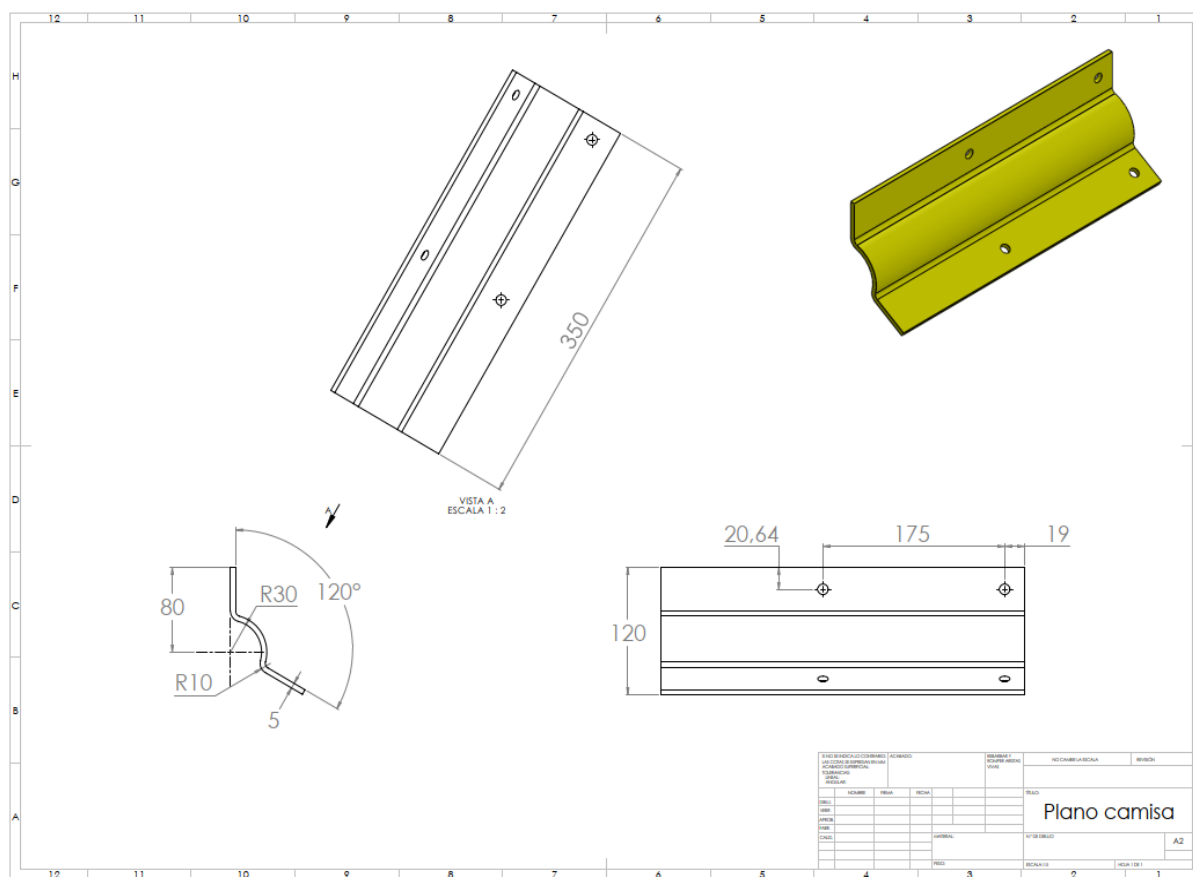


Figura 27. Plano camisa

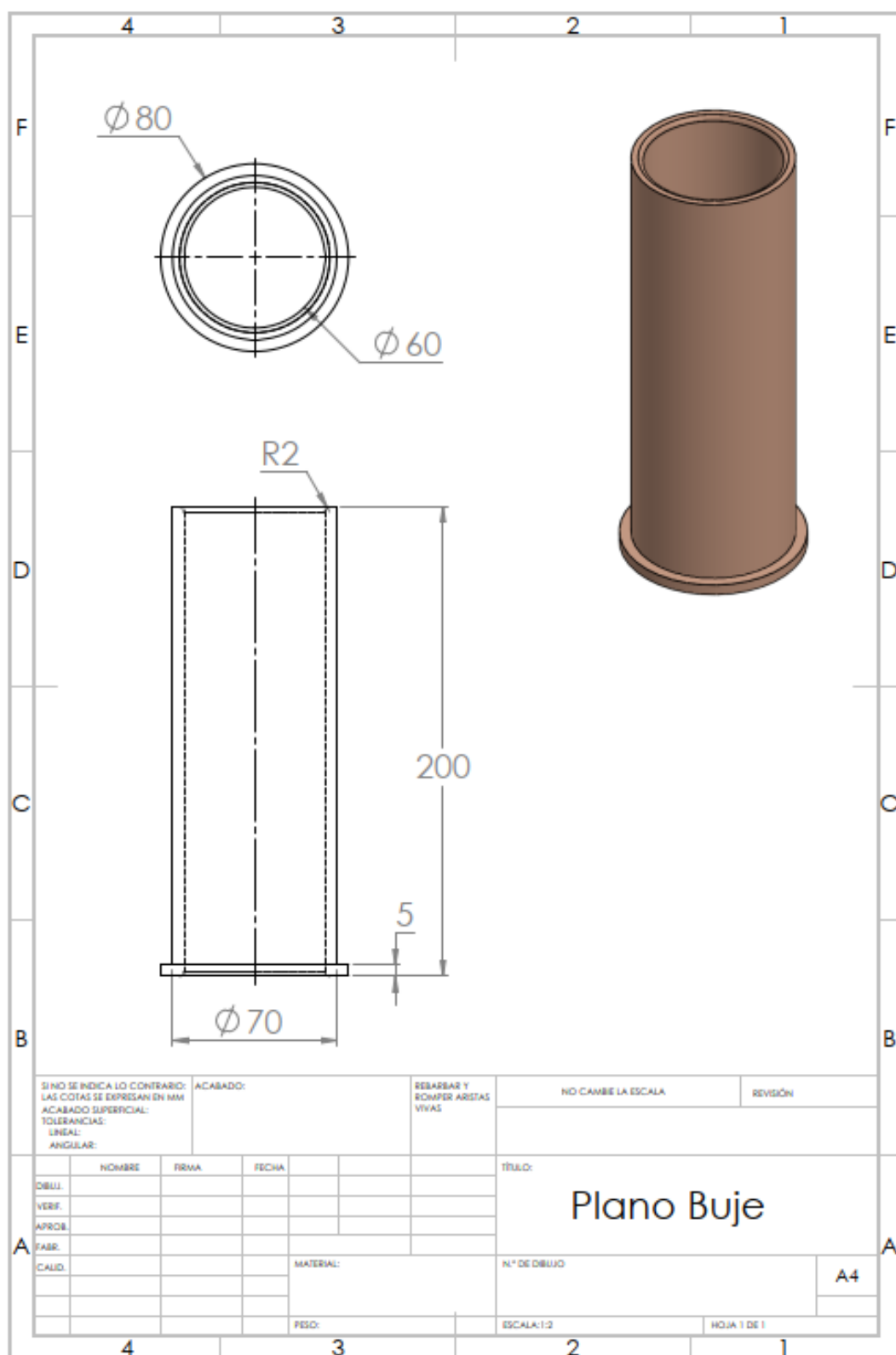


Figura 28. Plano buje

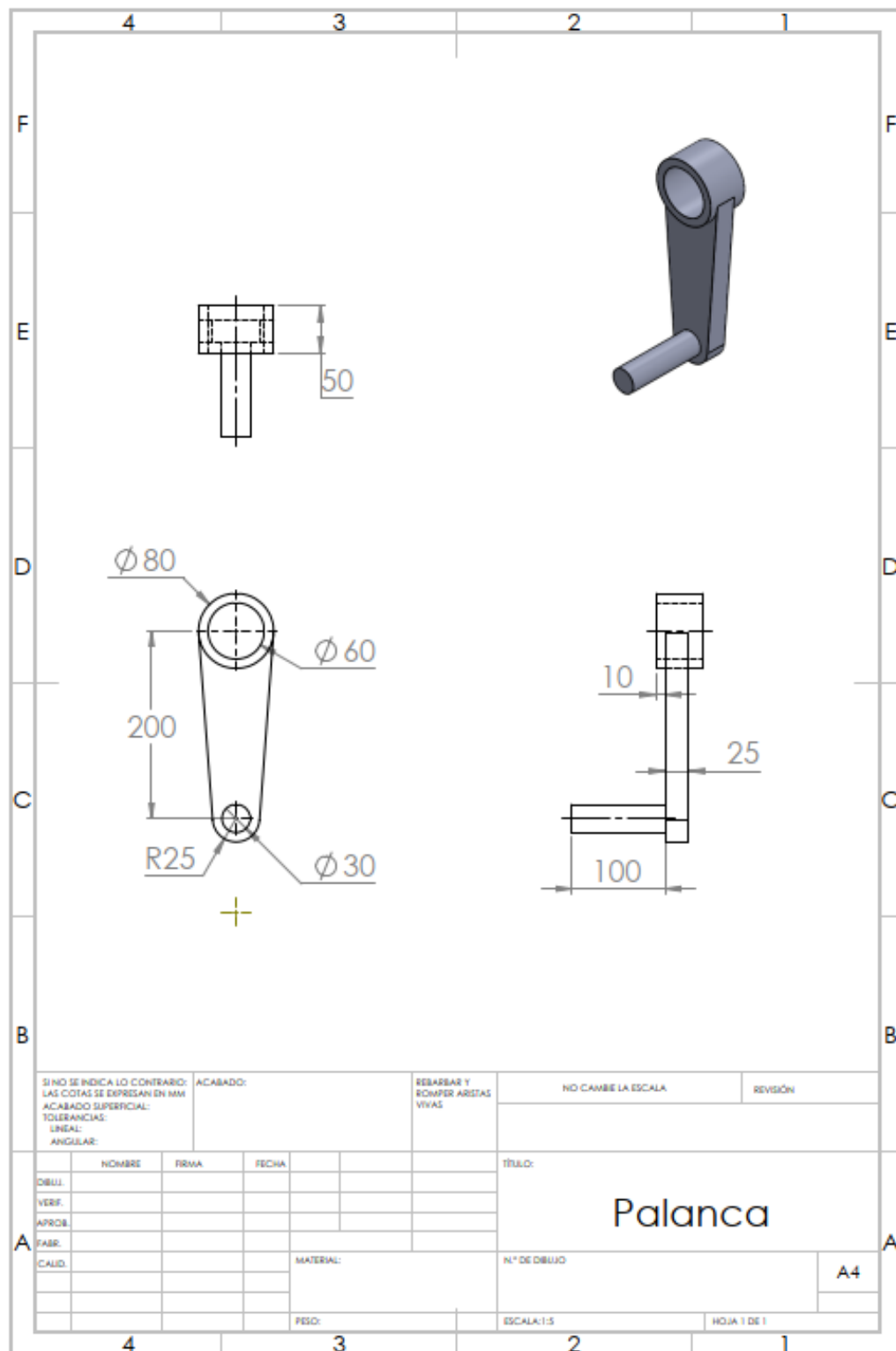


Figura 29. Plano palanca

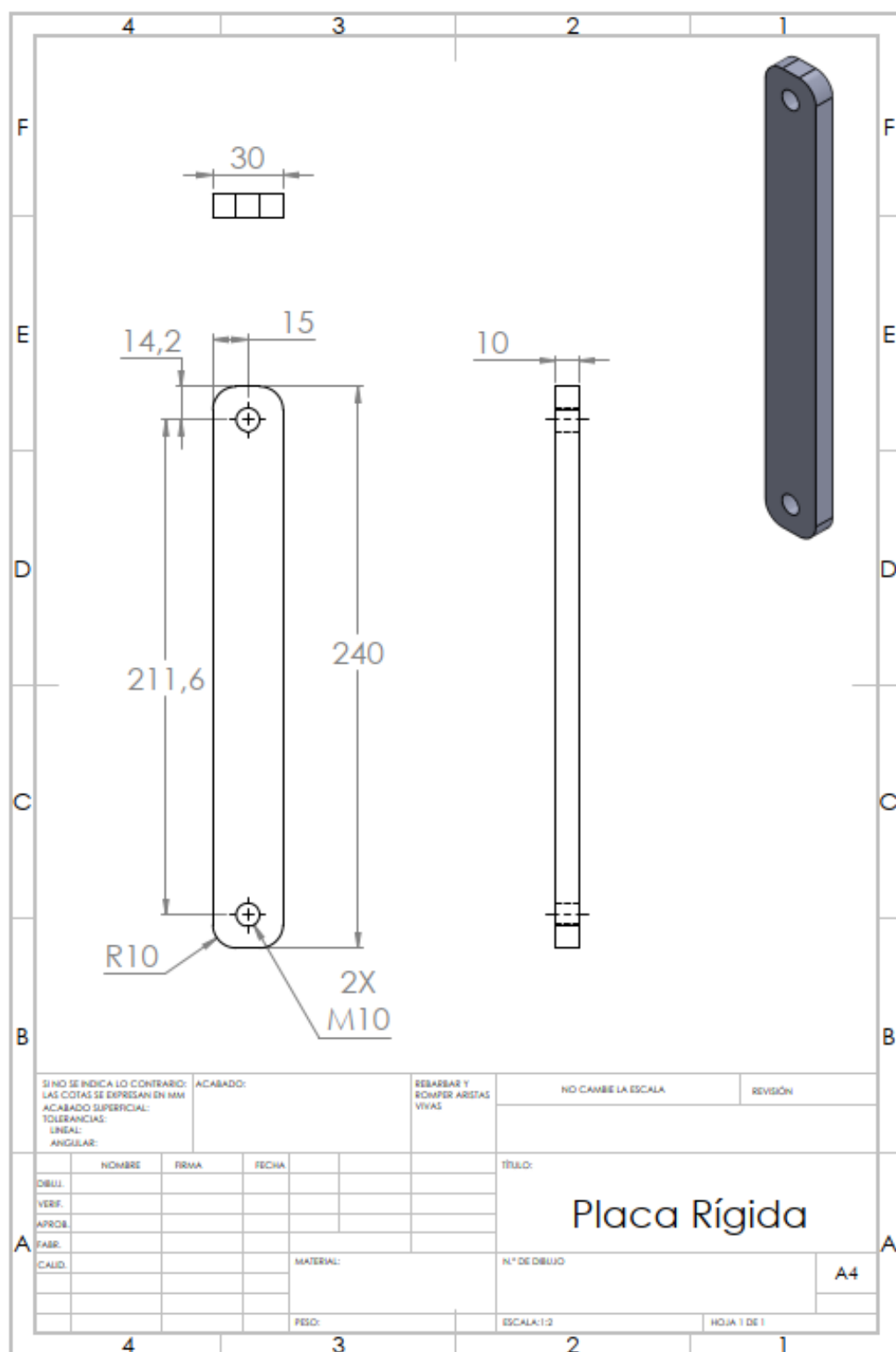


Figura 30. Plano placa rígida

ALTERNATIVAS

Se dejan propuestas dos alternativas para corregir la problemática de no poder realizar la fabricación de algunos de los diseños de tank Shunts.

En estas alternativas se hace una modificación a la cruceta y al soporte que se desliza sobre esta (Ver anexos C y D).

También se realizan los planos de las piezas corregidas en cada una de las propuestas donde se muestran las modificaciones y sus respectivas medidas (Ver anexos C y D).

ANEXOS

Anexo 1: Cálculo del costo de fabricación de Tank Shunts



Savings_Tank
shunt.xlsx

Anexo 2: Capacidad de trabajo de la máquina.



Capacidad
maquina.xlsx

Anexo 3: Alternativa 1.



Alternativa 1.xlsx

Anexo 4: Alternativa 2



Alternativa 2.xlsx

CONCLUSIONES

- Al hacerse la investigación y el análisis de costo sobre el proceso de tercerización en el cual la empresa HITACHI ABB incurre para poder obtener los shunts magnéticos que necesita para sus transformadores de potencia, se pudo corroborar la necesidad de implementar este proyecto para la fabricación de la máquina descrita en el presente trabajo.
- Se logró elaborar de forma clara y detallada todos los planos necesarios del dispositivo y cada uno sus componentes.
- Adicionalmente, basado en las dimensiones de diseños de shunts magnéticos fabricados anteriormente, se pudo dar medidas a la máquina para su fabricación, y se estableció el rango de trabajo necesario del dispositivo.
- También, partiendo del rango de trabajo establecido para la máquina, se determinaron las dimensiones posibles que pueden tener los shunt magnéticos al ser fabricados en el dispositivo.
- Finalmente, teniendo definidos, tanto la capacidad de la maquina como los valores de las dimensiones posibles de los shunts magnéticos fabricados en el dispositivo, se elaboró una herramienta en Excel para el área de ingeniería que contiene dicha información, de esta manera los diseñadores sabrán en que rango de medidas podrán hacer los diseños de los shunts para su posterior fabricación en la máquina.

RECOMENDACIONES

- Se debe lubricar con regularidad el mandril del enrollador y desenrollador.
- De forma preventiva, se recomienda comprobar si el mandril del enrollador y desenrollador está atascado o es anormal antes de ponerlo en marcha.
- Utilizar correctamente el enrollador y desenrollador de acuerdo con las instrucciones y la normativa de seguridad.
- Si el dispositivo emite ruidos extraños durante su funcionamiento, detener de forma inmediata.
- Verificar los diseños generados por el área de ingeniería con el rango de trabajo de la máquina, esto con el fin de corroborar si es posible su fabricación en el dispositivo

BIBLIOGRAFÍA

- Conciencia Tecnológica No. 42, Julio - Diciembre 2011. "Evaluación de Protección para la Reducción de Corrientes Inducidas en el Tanque del Transformador". {En línea}. {Consultado: Abril de 2020}. Disponible en: [\(file:///C:/Users/comiher/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeProteccionParaLaReduccionDeCorrientes-3829934.pdf\)](file:///C:/Users/comiher/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeProteccionParaLaReduccionDeCorrientes-3829934.pdf)
- Instructive Magnetic Shunt for SPT Transformers. (ABB Ltda.)
- Fundación Endesa Corrientes alternas con un transformador eléctrico. "El transformador eléctrico". Endesa educa. {En línea}. {Consultado: Abril de 2020}. Disponible en: <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-corrientes-alternas-con-un-transformador-electrico>
- Enciclopedia. "Transformador". {En línea}. {Consultado: Abril de 2020}. Disponible en: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Transformador#:~:text=Si%20aplicamos%20una%20fuerza%20electromotriz,la%20frecuencia%20de%20la%20corriente>.
- Ensayo de transformadores. "transformador en vacío". McGraw-Hill Education. {En línea}. {Consultado. Abril de 2020}. Disponible en: [\(https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448141784.pdf\)](https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448141784.pdf)